Energy Technology Futures

Purpose

This paper outlines four long-term scenarios for Canada's energy system for the 2030-2050 period. These scenarios have been developed by the Office of Energy Technology Futures of Natural Resources Canada (NRCan) over the period from July 1998 to October 1999.

Background

In Kyoto, Japan, in December 1997, Canada joined some 160 nations in agreeing to reduce the build-up of greenhouse gases in the earth's atmosphere. Canada's commitment under the Kyoto Protocol is to reduce our greenhouse gas emissions to six percent below 1990 levels by the period between 2008 and 2012. By that time, Canada will be required to reduce GHG emissions by about 200 megatonnes from current trends.

To help Canada meet these commitments the federal government established the **Climate Change Action Fund** (CCAF). The CCAF is designed to build an overall federal-provincial response to the climate change issue national strategy for meeting our Kyoto commitments. At the federal level, this overall response strategy is being co-ordinated by a Climate Change Secretariat reporting to the Deputy Ministers of Natural Resources Canada and Environment Canada. The Secretariat is responsible for putting in place a co-ordinated federal action plan to respond to the Kyoto challenge and to engage Canadians in longer-term solutions.

What are the Greenhouse Gases?
There are six greenhouse gases covered under the Kyoto Protocol – carbon dioxide (CO_2), methane, nitrous oxide, hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs) and sulphur hexafluoride (SF_6).

Of these six gases, three are of primary concern because they are closely associated to human activities.

***Carbon dioxide**, or CO_2, is the most important of the greenhouse gases released by human activities. It is the main contributor to climate change – through the burning of fossil fuels.*

***Methane** is produced naturally when vegetation is burned, digested or rotted without the presence of oxygen. Garbage dumps, rice paddies and grazing cattle, release large amounts of methane.*

***Nitrous oxide** occurs naturally in the environment but human activities are increasing the quantities. Nitrous oxide is released when chemical fertilizer is used in agriculture.*

The CCAF has four components:

The Public Education and Outreach component supports projects that build public awareness and understanding of climate change and promote actions to reduce greenhouse gas emissions.

The Science, Impacts and Adaptation component supports further research to advance our knowledge of the magnitude, rate and regional distribution of climate change and its impact on Canada so we can better estimate the risks of climate change. It also supports research on adaptation to these changes.

The Technology Early Action Measures component of the CCAF supports cost-effective technology projects that will lead to significant reductions in greenhouse gas emissions.

The Foundation Analysis component supports sound analysis of options to meet Canada's Kyoto commitments. The Energy Technology Futures Project is one of the elements of the Foundation Analysis work, and is the only activity under the CCAF that looks beyond the Kyoto time frame.

Energy Technology Futures

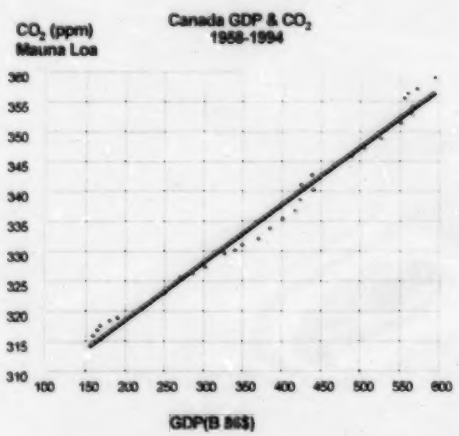
In June 1998 Natural Resources Canada (NRCan), the federal ministry responsible for policies and programs related to the energy, minerals, and forestry sectors as well as the earth science sector initiated work on the **Energy Technology Futures** project (ETF). The project is a major policy research effort designed to move beyond the current time frame and focus, and develop possible visions of Canada's energy system three to five decades into the future. The project is designed to address the main public policy issue in the climate change debate; i.e., altering the fundamental relationship between economic growth and increasing GHG emissions. The secondary objective of the project is to improve NRCan's longer-term S&T planning capabilities.

ETF considers technologies at the conceptual stage of development (technologies which have not undergone testing nor have moved into the applied stage of the R&D cycle) and at the early prototype stage (technologies that are candidates for commercialisation, but need additional development and testing). This does not mean that technologies identified by other climate change processes (such as TEAM) or existing technologies could not be included in the ETF mix. The difference is that ETF would see these technologies moving from their current status to market implementation so that they are substantive contributors to the overall energy system and GHG emission reductions.

Canadian GDP and GHG Growth

The historical relationship between the growth of GHGs and that of the economy (as measured by GDP) have been virtually linked (Figure 1[1]). This is not just a Canadian phenomenon, global economic and atmospheric CO_2 emission trends exhibit even closer correlation. Altering that relationship implies fundamental changes in how Canada develops and uses its energy resources.

Figure 1



[1] *Hydrogen and Nuclear Energy: Building Non-Carbon Bridges to the Future*, Duffey, Hancox, Pendergast and Miller, Atomic Energy of Canada Limited.

The Approach

The primary product of the ETF project is a set of internally consistent and logical scenarios of Canada's energy system three to five decades into the future. The scenarios are focused on energy sources, energy carriers and energy technologies. They do not focus on policies, regulations or fiscal instruments that could be in place. The scenarios are intended to give a view of what Canada's energy system could look like in 2050. They are intended to stimulate thinking by all stakeholders and help them make plans and decisions with a broader view of the potential role, and limits, of technologies over the longer-term. Each scenario describes a distinct and plausible Canadian "world" in terms of its global context and how Canada fits within that world. Each scenario also discusses the energy system that could be used in Canada for the way we live, work, and move people, goods and resources throughout the economy. Each scenario also provides an estimate of energy demands, fuel mix and GHG emissions.

The project adopts the notion of energy services, both from a consumer and producer perspective. Consumers do not demand energy but the services it provides; i.e. mobility, space conditioning, illumination, motor drive, etc. How those services are met, either by technology or a form of energy, combine to make an energy system. Thus, what historically has been looked at in a two dimensional context of energy demand and supply, has now to be looked at in at least three dimensions of services, fuels and technologies

Inputs to the Scenarios

The scenarios have been developed on the basis of the following inputs:

1.0 A Set of Common Assumptions

1.1 Socio-Economic Assumptions

ETF has assumed a stable socio-political future for Canada in all scenarios, in that;

- Climate change will continue to be given a high priority in domestic and international policy for several years to come.
- The range of energy service demands will not significantly alter: i.e. there will still be a requirement for space conditioning, mobility, motor drives, etc.
- Minimal changes in lifestyle will take place over the period to 2050.
- Fundamental political change will not take place.
- Infrastructure will not be replaced until it has served its useful economic life.

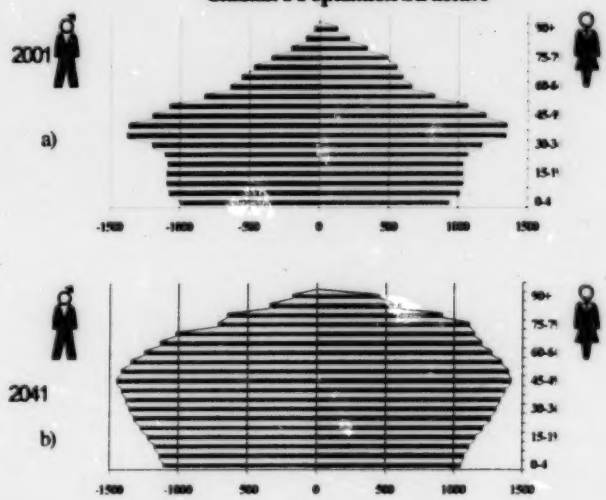
1.2 Demographics

ETF obtained projections from Statistics Canada for population and economic growth through the 2020-2041 period and extended these trends to 2050. Based on these estimates, Canada's population will grow from its current level of 31 million to between 35 and 50 million by 2041 depending on immigration levels. The scenarios have been built on the middle range assumption that immigration will continue its current net level

of 250,000 per year. In that case Canada's population will be 37 million by 2020 and 43 million by 2041, and 44 million by 2050. That growth rate – approximately 0.7% per year- will be the highest in the developed world.

The ratio of people below the age of 16 and over 65 compared to the population within those years, the 'dependency ratio', will rise from 48% in 2000 to 64% in 2041 primarily because of increases in the elderly population. The population aged 65 and over will double from the current 12% of the population to about 25% by 2041.[2]

Figure 2
Canada's Population Structure



The number of households in Canada could reach nearly 21.7 million by 2050 almost double the current number of 11.2 million. One-quarter of these will be maintained by Canadians 55 years or older. More than half of all families (55%) will consist of two persons or less.[3]

The urban/rural distribution of Canada's population will be approximately the same. Toronto and several other major cities will double in population by 2041.

1.3 Economic Growth

An average of the four economic forecasts used by ETF indicates a minimum annual increase in Gross Domestic Product (GDP) of approximately 2% per year through to 2025. Some scenarios assume higher levels of economic growth due to increasingly open global trade and/or pace of innovation.

1.4 GHG Emission Projections for Canada

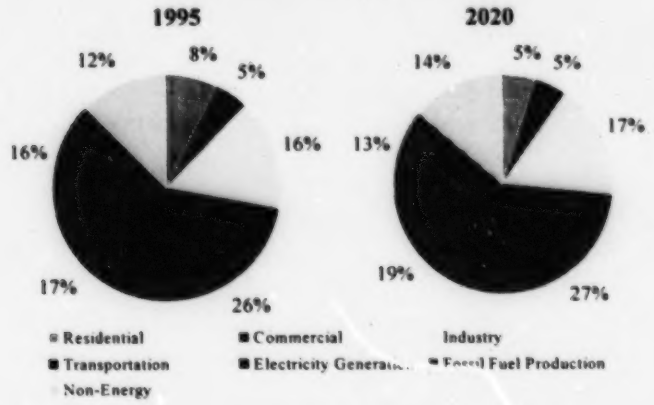
Projections from 2000 to 2020 of emissions of GHGs by source are outlined in Figure 3. Transportation, electricity generation, and industrial energy use account for the bulk of Canada's emissions in that period.[4] Although Canada's energy intensity has decreased slightly since the early 1970s, energy use and GHG emissions have been increasing in tandem with population and economic growth. The emissions intensity of the Canadian

---

[2] Statistics Canada, Catalogue 91-520, *Population Projections for Canada, Provinces and Territories 1993-2016*, December, 1994.
[3] Statistics Canada, *Projections of Households and Families for Canada, Provinces and Territories, Catalogue 91-522 Occasional*, Ottawa, 1995
[4] Natural Resources Canada, *Canada's Energy Outlook 1996 – 2020,* April 1997

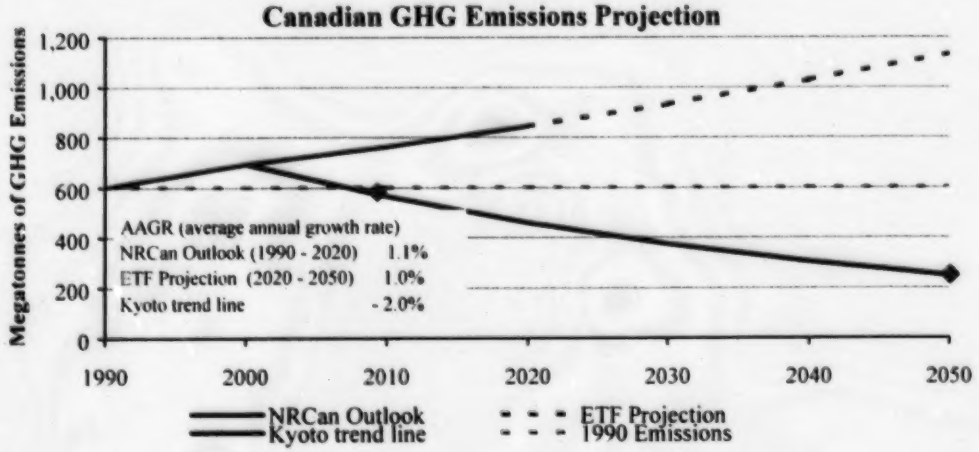
economy relative to the GDP will have to decrease by 4.3%[5] annually to achieve the Kyoto target by 2010. This is almost two and a half times the decrease in GHG intensity that occurred during the 1980 to 1990 period when Canada made substantial investments to improve the efficiency of energy use and to encourage shifts away from the use of oil.

Figure 3
GHG Emissions By Source



To reach the Kyoto target, Canada must reduce its GHG emissions by 2.0% per year from 2000 to 2010. By extending that reduction rate out to the year 2050, we can envisage a GHG 'budget' for Canada in 2050 of approximately 248 megatonnes, as outlined in Figure 4. This is over half 1990's emission level of 601 megatonnes. Conversely, extending NRCan's Energy Outlook line to 2050 results in an emission estimate of just over 1100 megatonnes, almost double 1990 emission levels.

Figure 4
Canadian GHG Emissions Projection



[5] Natural Resources Canada, *Canada's Emissions Outlook: An Update*, December 1999

2.0 Technology Perspectives

A set of technology perspectives or outlooks were developed at the beginning of the project to provide a preliminary inventory of technologies currently at the conceptual and prototypical stage. These technologies could be further developed and deployed on a large scale in the market during the 2030 to 2050 period. There are eleven sets of perspectives that are differentiated on the basis of service demands and scientific areas, these include:

- Alternative and renewable energy
- Biotechnologies
- Electricity generation
- Electricity transmission & storage
- GHG management (capture, disposal and re-use)
- Hydrogen
- Illumination
- Mobility
- Process heating
- Space conditioning
- Stationary drives

3.0 Focus Groups and Workshops

From October 1998 to April 1999 a series of international focus groups and workshops were held with representatives from universities, industry, research institutes and government from Canada, the United States, and Europe. The topics covered the full range of service demands, fuel areas and enabling technologies. Each group was provided with the technology perspective(s) for their specific area and asked, with the support of facilitators, to create several speculative visions of the innovation, development, and market penetration of new technologies that Canada could be using by the year 2050. The ETF team developed a report for the results of each session which are available on the ETF web site *www.nrcan.gc.ca/es/etf*. Approximately 400 experts were involved in these discussions.

4.0 Bi-lateral meetings and laboratory visits.

The ETF team met with approximately twenty individual research organisations, companies and municipal officials to share and compare work and ideas on potential future energy technologies and scenarios.

5.0 Continuing on-line conference via the ETF web-site

The ETF web-site provides all project documentation and a continuous on-line conference. This has enabled individuals to:

- examine the scope, nature, and coverage of the project,
- review and comment on the project products and documentation,
- participate in the on-line conference,
- make suggestions for innovative technologies and their applications.

All contributions have been posted on the site to stimulate further dialogue and debate. To date, the web-site has over 4300 hits and about 200 registered conference members.

Scenario Design

The formulation of the ETF scenarios is built on the work and the assumptions outlined above, but also on scenario planning work of several key individuals and organisations. The ETF Project Team reviewed the various studies; the methodologies employed, and design features of these works. Coupled with the results of the various focus groups and workshops, the team developed a foundation for the design and selection of the set of distinct and plausible scenarios that form the basis of this report.

The scenario design process was as follows:

1 The ETF Planning Space

A planning space, based on three key drivers, created the basis for the ETF scenario design. These drivers were selected after the analysis of issues raised at the various focus groups and workshops, bilateral discussions, and on-line conference. For an issue to be considered as a driver for the project, it had to meet the following criteria:

i) it had to have the potential to lead to significant changes in the future;
ii) it had to be beyond the control of the client group, and
iii) it had to be independent of the other drivers.

The definitions of these drivers and their dimensions or poles are outlined below.

Environmental Etiquette

This vector reflects how business and the public regard environmental issues, and build them into their decision-making processes. This vector also represents a behavioural response to environmental issues, and encompasses environmental ethics and environmental consciousness. It's polarities range from **Grey** where business and the public are slow to react to environmental concerns, to **Green** where business and public demonstrate high levels of awareness and are proactive, incorporating environmental concerns into decisions affecting their operations.

International Markets

The vector reflects the globalisation of the world economy, and the success of market transition and reform. The polarities of this vector are **Open** where tariffs are dropped, other trade barriers eliminated, the flow of products and capital is unimpeded, and economic integration takes place across all world economies to **Closed,** a protectionist world, where globalisation has not progressed as anticipated, and countries have a more isolated internal focus on their own economic growth and productivity.

The Rate of Change in the Innovation System[6]

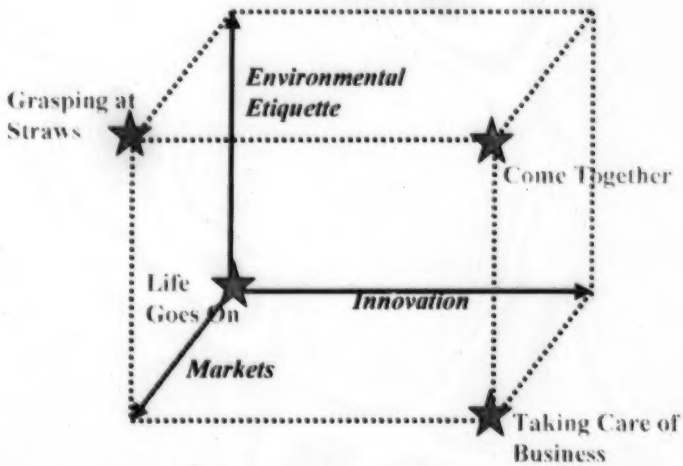
The 'innovation system' vector reflects the maturity of the innovation system within Canada. The vector has dimensions ranging from **Rapid** with exponential growth in new technologies leading to rapid capital stock turnover. Innovation is fostered through education, the effective management of new ideas, concepts and patient R&D, investment leading to product commercialisation. A **Slow** pace of innovation is one where various components of the chain are not nurtured, and the innovation system evolves at a rate similar to that seen in the late 20th Century. Few players are in a position to invest or exploit the products of that system and the rate of capital stock turnover is slow.

By placing the "low end" of the drivers at the origin, a three dimensional planning 'box' was created. The eight corners of the box established the extremes of the planning space and points within the bow box represent the full range of possible world solutions given these drivers.

2 Naming and Selecting the Scenarios

Four alternate futures selected for the project were based on their plausibility and internal consistency and the interest that the scenario would hold for the client group. The four scenarios are also distinct and thus, they can stand on their own. The ETF Team selected and named the following scenarios for further development:

Figure 5
ETF Planning Space



[6] This definition of the innovation system is clearly distinct from either product innovations that are made by firms in response to competitive forces or from the ability of a firm or economy to employ a technology. The ability of firms to adjust their product design in response to enhanced competition is market dependant, and the use of this definition of product innovation could be linked to market access, and thus these vectors would not be independent.

Life Goes On

This is a world with a slow pace of innovation, closed markets and grey environmental etiquette. The various conferences of the parties to the Framework Convention on Climate Change failed to elicit the participation of developing economies. As a result, discussions of environmental issues faded from the international scene. Both developed and developing countries reverted from late 20th Century trade liberation practices and sought greater protectionist policies. Operating in a shell, countries had little incentive to innovate, and environmental issues, while listened to, generally received lip service. Internal political goals of increased standards of living, education, and full employment dominated the agendas of developing countries. While globalisation was a positive goal for these economies the main tenet was that it would be achieved on their terms. Environmentally, this is an increasingly grey world building on existing technologies, with few immediate prospects of becoming greener.

Grasping at Straws

This scenario is one of green environmental etiquette and a slow pace of innovation. It is a world of reasonable economic growth and wide-open global markets. Pressure for immediate action on the climate change issue led governments of developed countries, including Canada, to rapidly deploy a variety of off-the-shelf technologies in the hope of finding a quick fix solution to the climate change issue. The near term advantages of moving mature technologies off the shelf and into the market were well received in this world. Not only did they generate benefits, both economic and environmental, but they also enabled politicians to demonstrate that concrete action was being taken to reduce emissions to both the public and environmental groups. Unfortunately, this focus on deployment and nearer term activities resulted in a very uneven pattern of investment along the innovation chain. The lack of commitment to longer-term planning and far-sighted R&D left countries with limited pools of technologies from which to draw. By about 2030, very few innovative technologies were available to address the climate change issue. This is light to mid green in the near-term, but starts to turn grey as few new technologies are being developed.

Taking Care of Business

Rapid innovation, open markets and low environmental etiquette have led to a world driven by economics and profit. The world is dominated by a system of interconnected transnational companies (TNCs) aimed at furthering their own corporate as well as economic interests. This is a world of rapid capital stock turnover and strong economic interdependence between companies and nations. Expanded economic growth and prosperity has led to a reduced focus on social and environmental issues. It has also led to a growing gap between developed and developing nations. Transnational companies exert not only economic power, but also exert political power in their dealings, particularly with developing economies. This is a world where TNCs locate plants in industrial enclaves within developing countries where reduced costs increase the overall profit base on the TNCs. Available land in these regions was quickly acquired by these TNCs, and in some cases, countries, particularly those with rapid population growth found themselves in a position where rural poverty and worsening urban environments created health as well as social tensions. The international issue in this world is not

climate change but wealth distribution. This is a mid-grey world that has turned somewhat greener due to technological advances that have reduced GHG emissions.

Come Together

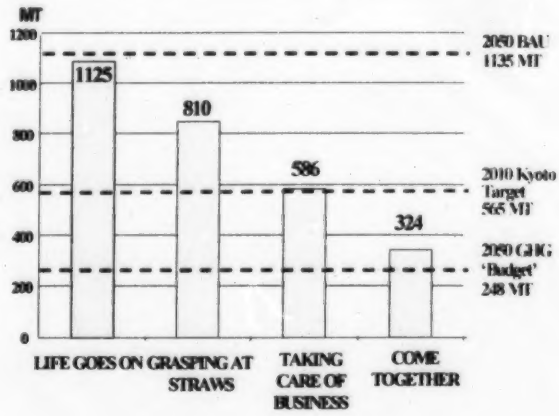
This is a GHG responsive world, with open markets, rapid innovation, and high levels of environmental etiquette. There is a strong cohesion of views amongst government, industry, and the public over environmental issues, and this is shared internationally. Multinational companies exert political as well as economic power, and press governments on environmental, trade and monetary issues. The expanded interconnectedness of the world allows new technology to be openly developed, traded, and applied in innovative ways across all sectors. Canada was well placed in this global market, and Canadian business has been able to capitalise on its expertise and products, and to re-invest in improvements and establish new areas of competence readily demanded in these open and expanding global markets. This world, despite its strong environmental ethic, is mid-green in colour. Reduced GHG emissions realised through technology gains are somewhat offset by expanded industrial operations, extensive international distribution systems, and energy using leisure activities.

Results of the Scenarios

A framework was developed to assess the GHG impacts and implications of each scenario. The framework builds on NRCan's InterFuel Substitution Demand Model that was used in Canada's Energy Outlook 1996-2020 and extended in our estimate of the Business As Usual Forecast.

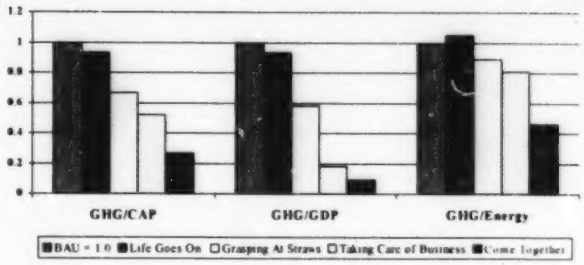
To extend this framework to 2050 three categories of assumptions were used: i) those that related to context assumptions; for example, demographic, and economic trends, ii) those easily calculated from context assumptions, such as vehicle kilometres per capita, and iii) scenario specific assumptions related to efficiencies, technology improvements, and the fuel splits of each scenario. Based on these assumptions, estimates of the GHG emission levels were calculated. The *Life Goes On* scenario approximates the emission levels in the Business As Usual Forecast. The *Come Together* scenario has GHG emission levels closest to the 2050 "GHG Budget" for Canada (see Figure 6).

Figure 6
GHG Impact of ETF Scenarios



The ETF analytical framework also allows for more detailed calculations to support these levels. For example, Figure 7 outlines the GHG per capita, per unit of output and per unit of primary energy for each scenario. As seen in each case, the GHG per capita is reduced as greater innovation and environmental etiquette are introduced into the scenarios. The carbon intensity per unit of economic output and energy mix also decline. When compared to the Business As Usual Forecast, GHG levels per capita and GHG levels per unit of output lie below it for all the ETF scenarios. Carbon intensity of the energy mix in *Life Goes On* is above that of the Business As Usual due to a combination of greater reductions in energy use versus marginally lower GHG emissions in the scenario.

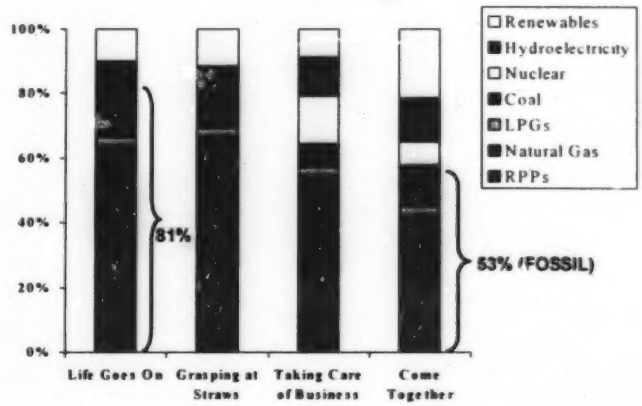
Figure 7
Scenario GHG Intensities



In terms of GHG per unit of output, as the scenarios incorporate more rapid innovation, more fundamental changes in manufacturing systems are seen. In *Come Together*, for example, these systems are more flexible and agile, and rely on fast re-tooling, multi processing and multi tasking. As well, there is greater use of micro machines, nano-technologies, and a heavy reliance on high-speed computing. Biotechnologies also play a major role in reducing the carbon intensity of industrial processes in such areas as remediation, separation, purification, and the in-situ processing and upgrading of heavy oil and oilsands. Links between biotechnologies and information technologies have also reduced intensities through such technologies as DNA computing, sensors & controls and artificial intelligence and robotics.

The carbon intensity of the fuel mix is also a major reason for reductions in GHG emissions. Figure 8 shows that then fossil fuel component of the energy mix is declining. Nonetheless Canada still demands and uses fossil fuels. As a proportion of the mix fossil fuels account for about 81% under the *Life Goes On* scenario (the highest GHG emission scenario) and about 53% under the *Come Together* scenario (the one approximating the 2050 "GHG Budget").

Figure 8
Fuel Mix

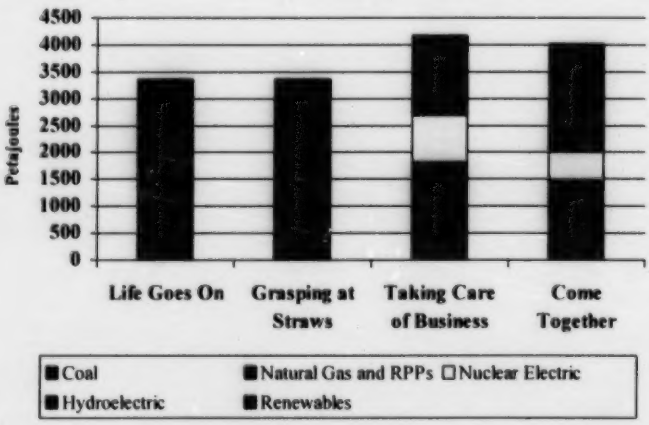


In all scenarios natural gas plays a significant role. As cogeneration systems and combined cycle systems are introduced in *Life Goes On* and *Grasping At Straws*, natural gas use increases accordingly. That role does diminish as nuclear is added into the mix under the *Taking Care of Business* and *Come Together* Scenarios. For non-generation, natural gas and coal become swing fuels reflecting the interplay of innovation, environmental etiquette, and market access.

Renewable energy sources play a greater role in the mix in *Come Together* where they account for about 21% of the mix.

Finally, all the various scenarios show greater electrification of the economy. In the analysis of the scenarios the extent of electrification and the shifting nature of the energy sources to meet these electricity needs is identified. Figure 9 shows hydro remaining strong across all scenarios, but that natural gas and coal vary across scenarios in response to the strength of the environmental driver. Nuclear generation is wound down in the *Life Goes On* and *Grasping At Straws* scenarios to reflect the current plant lay-ups, and concerns over waste management issues. In *Taking Care of Business* and *Come Together*, nuclear generation emerges as a means of meeting the demands for high quality and reliable power brought about by semi-conductor fabrication, nano-technologies, biotechnologies, and information technologies systems. The availability of modular nuclear units, new reactor designs, and the transmutation of nuclear waste also facilitate the growth in nuclear generation. Super conducting magnetic storage has reduced the needs for peaking power, and allows for more base-load nuclear to be brought on line. In these latter two scenarios there is also a growing reliance on other generation sources including renewables.

Figure 9
Electricity Generation



Issues and Challenges

Several key issues and challenges emerge for the ETF scenarios. Perhaps the most important are:

i) <u>The Role of Nuclear Energy in Canada</u>

Given the current lay-up of several of its nuclear reactors, will Canada see nuclear generation emerge as a viable source, and will it grow as suggested in some of the ETF

scenarios? Will nuclear be combined with hydrogen production and what are the energy and other costs associated with this link? Will Canada redevelop its nuclear capabilities at home or will it rely on units from abroad?

ii) The Role of GHG Capture and Disposal

GHG sequestration technologies can make a significant impact in the overall management of emissions and CO_2 in particular. What are the best options for capture, point sources, what about mobile sources such as personal vehicles? Are aquifers or deep ocean options the most effective means to manage GHGs? Can mineralisation of CO_2 work effectively?

iii) The Role of Hydrogen

Could Canada move to a hydrogen economy, and if so can some of the issues related to hydrogen (storage, distribution, energy density, consumer acceptance) be resolved and over what time frame? If there is to be a hydrogen economy, how will it be produced, where, and how quickly will it evolve?

iv) The Role of Renewable Energy in Canada

How important will renewable energy sources be in Canada, and how can they be used most effectively and appropriately? Moreover, what will be the effect of other technologies like large-scale electrical storage technologies on renewables: will it help or hinder?

v) Infrastructure Issues

Infrastructure wears out and attention must be paid to the technology, product and plant investment. What are the economic and security implications of infrastructure "rust-out"? How can investment in materials, processes and lifetime assessment techniques allow for better planning?

vi) How do we move from where we are now to where we could be?

This is by far the biggest question arising from the ETF Scenario work. How can the longer-term thinking be built into the policy planning and R&D priority setting activities? What linkages and co-operative mechanisms domestically and internationally are necessary to elicit the changes in the nature of the energy technology and policy activities of countries to realise the key role that technology and innovation have in meeting longer-term environmental and economic objectives? What type of policies, frameworks and conditions are necessary to accelerate innovation and capital stock turnover?

Avenir des technologies énergétiques

Objet

Le présent document décrit quatre scénarios à long terme en ce qui concerne le système énergétique du Canada pour la période 2030-2050. Ces scénarios ont été élaborés par le Bureau de l'Avenir des technologies énergétiques de Ressources naturelles Canada (RNCan) entre juillet 1998 et octobre 1999.

Contexte

À Kyoto, au Japon, en décembre 1997, le Canada a convenu avec 160 autres pays de réduire les accumulations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère terrestre. Dans le cadre du Protocole de Kyoto, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de GES de 6 % par rapport aux niveaux de 1990 d'ici la période 2008-2012. En valeur absolue, c'est environ 200 mégatonnes (Mt) de moins que les volumes actuels.

Pour aider le Canada à remplir ses engagements, le gouvernement fédéral a créé le **Fonds d'action pour le changement climatique** (FACC) et commencé à élaborer une stratégie fédérale-provinciale de lutte contre le changement climatique. À l'échelle fédérale, cette stratégie est coordonnée par le Secrétariat national du changement climatique, qui rend compte aux sous-ministres de Ressources naturelles Canada et d'Environnement Canada, et qui a pour mandat de mettre en place un plan d'action fédéral cohérent pour relever le défi de Kyoto et rallier les Canadiens autour de solutions à plus long terme.

Quels sont les gaz à effet de serre?
Le Protocole de Kyoto couvre six gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane, l'oxyde nitreux, les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6).

Trois de ces gaz préoccupent tout particulièrement, parce qu'ils sont étroitement associés à des activités humaines.

*Le **dioxyde de carbone**, ou CO_2, est le plus important des gaz à effet de serre d'origine anthropique. En raison de l'utilisation des combustibles fossiles, c'est lui qui contribue le plus au changement climatique.*

*Le **méthane** est le produit naturel de la combustion, de la digestion ou de la décomposition des végétaux en l'absence d'oxygène. Les décharges, les rizières et les pacages libèrent de grandes quantités de méthane.*

*L'**oxyde nitreux** est présent à l'état naturel dans l'environnement, mais les humains en produisent également certaines quantités, notamment lorsqu'ils emploient des engrais chimiques en agriculture.*

Le FACC comporte les quatre volets suivants :

Éducation et sensibilisation du public. Ce volet finance des projets qui visent à sensibiliser le public et à lui faire mieux comprendre le problème du changement climatique, et qui l'encouragent à prendre des mesures pour réduire les émissions de GES.

Science, impacts et adaptation. Ce volet finance la recherche nécessaire pour faire progresser nos connaissances sur l'ampleur, l'échelonnement dans le temps et la distribution régionale du changement climatique et de ses impacts sur le Canada, de façon à ce que nous puissions mieux estimer les risques. Il appuie également la recherche sur l'adaptation à ces changements.

Mesures d'action précoce en matière de technologie. Ce volet du FACC finance des projets axés sur des technologies rentables qui permettront de réduire sensiblement les émissions de GES.

Analyse de base. Ce volet finance les analyses approfondies auxquelles on soumet diverses mesures qui aideront le Canada à remplir ses engagements de Kyoto. Le projet de l'Avenir des technologies énergétiques relève de ce volet; c'est la seule activité financée par le FACC qui envisage l'avenir au-delà de l'échéancier de Kyoto.

Avenir des technologies énergétiques

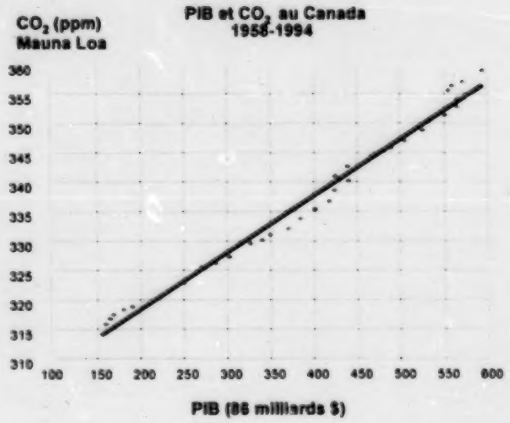
En juin 1998, Ressources naturelles Canada (RNCan), le ministère fédéral chargé des politiques et des programmes liés aux secteurs de l'énergie, des minéraux, des forêts et des sciences de la Terre, a lancé le projet **Avenir des technologies énergétiques** (ATE). Il s'agit d'un important programme de recherches stratégiques qui embrasse un horizon plus lointain et un champ d'action plus large que les mesures actuelles; il envisage ce que pourrait être le système énergétique du Canada dans trente, quarante ou cinquante ans. Il vise fondamentalement à résoudre la grande question qui se pose aux décideurs dans le débat actuel sur le changement climatique : la façon de modifier la relation fondamentale entre la croissance économique et l'augmentation des émissions de GES. Un objectif secondaire est d'améliorer les capacités de planification à plus long terme de RNCan dans le domaine de la S-T.

Le projet ATE considère des technologies qui sont encore au stade de la conception (c'est-à-dire qui n'ont pas été expérimentées ni appliquées) et en début de prototypage (technologies candidates à la commercialisation, mais qu'il faut soumettre à d'autres études et essais). Cela n'exclut pas la possibilité d'intégrer à ce projet des technologies retenues dans d'autres volets du processus de lutte contre le changement climatique (par exemple le projet TEAM) ou des technologies existantes, sauf que l'on verrait à faire passer ces technologies de leur état actuel à la commercialisation, de façon à ce qu'elles apportent une contribution majeure au système énergétique global et à la réduction des émissions de GES.

La croissance du PIB et des émissions de GES au Canada

Le lien historique entre la croissance des émissions de GES et celle de l'économie (mesurée en fonction du PIB) a été pratiquement démontré (figure 1[1]). Il ne s'agit pas là d'un phénomène particulier au Canada; on peut en effet établir des corrélations encore plus étroites entre les tendances économiques et les émissions de CO_2 à l'échelle mondiale. Pour contrer ce phénomène, il faudra que le Canada modifie en profondeur ses modes d'exploitation et d'utilisation des ressources énergétiques.

Figure 1



La méthode

Le projet ATE a produit essentiellement une série de scénarios cohérents et logiques montrant le système énergétique du Canada, tel qu'envisagé dans trois, quatre ou cinq décennies. Les scénarios ont pour paramètres les sources d'énergie, les vecteurs énergétiques et les technologies énergétiques; ils ne tiennent pas compte des politiques, des règlements ou des instruments fiscaux qu'on pourrait éventuellement mettre en place. Leur but est de donner une idée du système énergétique que le Canada pourrait utiliser en 2050. Ils veulent susciter une réflexion parmi les intervenants et aider ceux-ci à élaborer des plans et à prendre des décisions en tenant compte du rôle potentiel à long terme et des limites de la technologie. Chaque scénario décrit un « monde » distinct et plausible représentant le Canada et la place qu'il occupe sur la scène internationale. On y trouve une étude du système énergétique que pourrait choisir le Canada, compte tenu des modes de vie et de travail de ses habitants, ainsi que des moyens utilisés pour le transport des gens, des biens et des ressources. Chaque scénario donne aussi une estimation de la demande d'énergie, de la composition du parc énergétique et des émissions de GES.

Le projet fait sienne la notion de services énergétiques, du point de vue du consommateur comme de celui du producteur. Le consommateur ne fait pas appel à l'énergie elle-même mais bien aux services que celle-ci procure : la mobilité, le conditionnement de l'espace, l'éclairage, la force motrice, etc. Les diverses formes de services, qu'ils soient technologiques ou énergétiques, constituent ce qu'on appelle un système énergétique. Ce système, qui a été considéré historiquement dans un contexte à deux dimensions (offre et demande), doit désormais être envisagé dans un contexte qui en compte au moins trois : services, sources d'énergie et technologies.

---

1 *Hydrogen and Nuclear Energy: Building Non-Carbon Bridges to the Future*, Duffey, Hancox, Pendergast and Miller, Énergie atomique du Canada limitée.

Élaboration des scénarios

Les scénarios ont été élaborés à partir des éléments suivants :

1.0 Une série d'hypothèses communes

1.1 Hypothèses socio-économiques

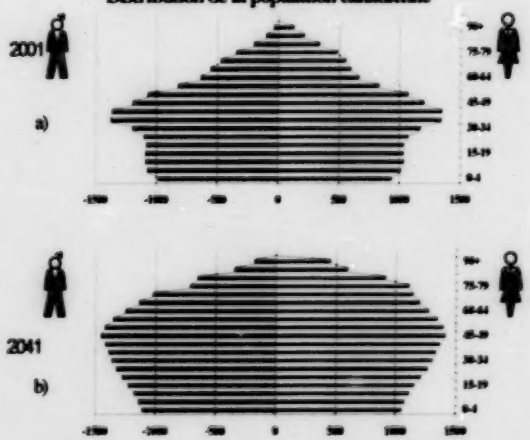
Pour tous les scénarios, l'ATE a pris pour hypothèse de départ que le Canada évoluerait dans un cadre socio-politique stable. Ainsi, il suppose que :

- Le changement climatique continuera à occuper une place prioritaire dans les politiques nationales et internationales pendant plusieurs années encore.
- L'éventail des besoins en matière de services énergétiques ne changera pas énormément, c'est-à-dire qu'on aura toujours besoin de climatisation, de mobilité, de force motrice, etc.
- Le mode de vie des Canadiens ne connaîtra que de légères transformations jusqu'à l'an 2050.
- Il n'y aura pas de changement fondamental sur l'échiquier politique.
- L'infrastructure ne sera remplacée que lorsqu'elle aura accompli son cycle de vie économique utile.

1.2 Facteurs démographiques

L'ATE a obtenu de Statistique Canada des projections concernant la croissance démographique et économique pour la période de 2020 à 2041 et a extrapolé ces tendances jusqu'à 2050. D'après ces estimations, la population du Canada, qui s'élève actuellement à 31 millions d'habitants, atteindra de 35 à 50 millions d'ici l'an 2041, selon le niveau d'immigration. Les scénarios reposent sur une hypothèse modérée voulant que l'immigration se maintienne à son niveau net actuel de 250 000 par année, ce qui ferait passer la population canadienne à 37 millions d'ici 2020, à 43 millions d'ici 2041 et à 44 millions d'ici 2050. Ce taux de croissance, d'environ 1 % par année, sera le plus élevé parmi les pays développés.

Figure 2
Distribution de la population canadienne



Le rapport entre le nombre de personnes comprises dans la tranche d'âge des moins de 16 ans et des plus de 65 ans et le nombre de personnes situées dans celle des 16 à 65 ans, soit le rapport dit

« de dépendance », passera de 48 % en l'an 2000 à 64 % en 2041, principalement en raison de l'augmentation du nombre des personnes âgées. La population âgée de 65 ans et plus doublera : de 12 % qu'elle est actuellement, elle atteindra 25 % d'ici 2041[2].

Le nombre de ménages canadiens pourrait atteindre près de 21,7 millions d'ici 2050, soit près du double du chiffre actuel de 11,2 millions. Le quart de ces ménages appartiennent à la catégorie des 55 ans ou plus. Plus de la moitié de toutes les familles (55 %) seront constituées de deux personnes ou moins[3].

Le ratio de la population urbaine à la population rurale demeurera à peu près le même. Toronto et plusieurs autres grandes villes verront leur population doubler d'ici 2041.

1.3 Croissance économique

Si l'on fait la moyenne des quatre prévisions économiques utilisées par l'ATE, on obtient une augmentation minimale annuelle du produit intérieur brut (PIB) d'environ 2 % par année jusqu'en 2025. Certains scénarios proposent des niveaux plus élevés de croissance économique pour tenir compte de l'accroissement des échanges internationaux et du rythme de l'innovation.

1.4 Les projections des émissions de GES au Canada

Les projections concernant les émissions de GES par source pour la période de 2000 à 2020 sont présentées à la figure 3. Le gros des émissions canadiennes au cours de cette période provient des transports, de la production d'électricité et de la consommation d'énergie dans l'industrie[4]. Bien que l'intensité énergétique ait diminué légèrement depuis le début des années 70, la consommation d'énergie et les émissions de GES ont augmenté en parallèle avec la croissance démographique et économique. Pour atteindre la cible fixée par le Protocole de Kyoto d'ici 2010, l'intensité des émissions de GES dans l'économie canadienne par rapport au PIB devra diminuer de 4,3 %[5] par année. Ce chiffre correspond à presque deux fois et demie la baisse de l'intensité des GES survenue entre 1980 et 1990, période pendant laquelle le Canada a investi des sommes considérables pour améliorer l'efficacité de la consommation énergétique et pour encourager l'utilisation d'autres sources d'énergie que le pétrole.

---

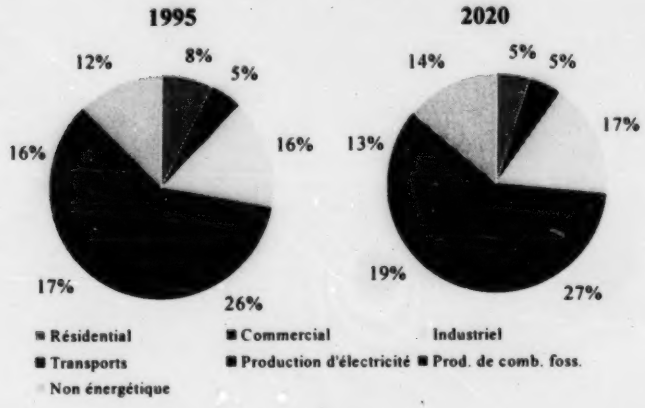
[2] Statistique Canada, Catalogue 91-520, *Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires, 1993-2016*, décembre 1994.

[3] Statistique Canada, *Projections des ménages et des familles pour le Canada, les provinces et les territoires, Catalogue 91-522, occasionnel*, Ottawa, 1995

[4] Ressources naturelles Canada, *Perspectives énergétiques du Canada 1996 – 2020*, avril 1997

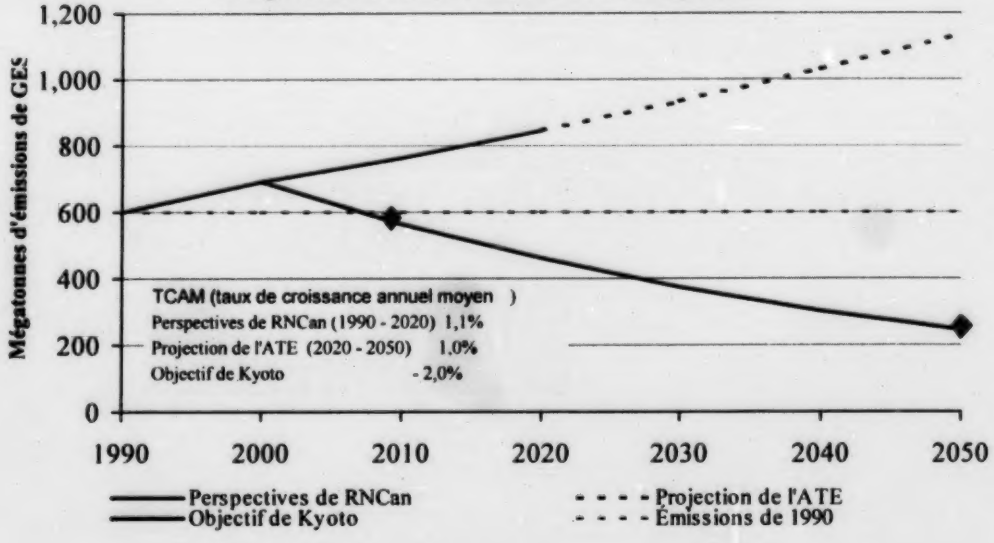
[5] Ressources naturelles Canada, *Perspectives des émissions du Canada : Une mise à jour*, décembre 1999

Figure 3
Émissions de GES par source



Le figure 4 montre que si l'on prolonge jusqu'en 2050 le taux annuel de réduction de 2 % des émissions de GES, nécessaire pour atteindre en 2010 l'objectif fixé par le Protocole de Kyoto, on obtient un résultat de quelque 248 Mt GES, soit une baisse de plus de la moitié du niveau des émissions de 1990, qui s'élevaient à 601 Mt. De même, si l'on prolonge la courbe des perspectives énergétiques de RNCan jusqu'en 2050, on aboutit à une estimation d'un peu plus de 1 100 Mt.

Figure 4
Projection des émissions de GES canadiennes



2.0 Perspectives technologiques

Des perspectives technologiques, destinées à faire l'inventaire des technologies en cours de conception ou arrivées au stade du prototype, ont été élaborées au tout début du projet. Ces technologies pourraient faire l'objet d'un développement et être utilisées à grande échelle sur les marchés pendant la période de 2030 à 2050. Onze séries de perspectives ont ainsi été classées en fonction des demandes de services et des secteurs scientifiques. Ce sont :

- Les énergies de remplacement et renouvelables
- Les biotechnologies
- La production d'électricité
- Le transport et le stockage d'électricité
- La gestion des GES (captage, élimination et réutilisation)
- L'hydrogène
- L'éclairage
- La mobilité
- La production de chaleur industrielle
- Le conditionnement de l'espace
- Les forces motrices fixes

3.0 Groupes de réflexion et ateliers

Entre octobre 1998 et avril 1999, on a tenu une série d'ateliers et de groupes de réflexion avec des représentants des universités, de l'industrie, des instituts de recherche et des gouvernements du Canada, des États-Unis et de l'Europe. Les discussions ont couvert tout l'éventail des services, des sources d'énergie et des technologies habilitantes. On a fourni à chaque groupe les perspectives technologiques établies pour le secteur d'activité dont il s'occupait, et on lui a demandé, avec l'aide de facilitateurs, de créer plusieurs scénarios concernant la création, le développement et la commercialisation de nouvelles technologies que le Canada pourrait utiliser d'ici l'an 2050. L'équipe ATE a établi un rapport décrivant les résultats de chaque séance de discussion; ces rapports sont accessibles sur le site Web de l'ATE *www.nrcan.gc.ca/es/etf*. Environ 400 experts ont pris part aux discussions.

4.0 Réunions bilatérales et visites de laboratoire.

L'équipe ATE a rencontré une vingtaine d'organismes de recherche, d'entreprises et de porte-parole municipaux, qui ont partagé et comparé leurs expériences et leurs idées concernant les technologies énergétiques de l'avenir et les scénarios en ce domaine.

5.0 Atelier virtuel sur le site Web du programme ATE

Le site Web du programme ATE fournit tous les renseignements nécessaires sur le projet et donne accès à un atelier virtuel continu. Les participants peuvent ainsi :

- examiner la portée, la nature et le champ d'application du projet,

- examiner et commenter les produits et la documentation issus du projet,
- participer à l'Atelier virtuel,
- suggérer des technologies et des applications novatrices.

Toutes les contributions sont affichées sur le site, afin de stimuler le dialogue et le débat. À ce jour, on a enregistré plus de 3 500 visites sur le site Web, et environ 200 participants se sont inscrits à l'Atelier virtuel.

Conception des scénarios

Les scénarios ATE sont élaborés à partir des études et des hypothèses mentionnées ci-dessus, mais on met également à profit le travail de planification accompli par plusieurs personnes et organisations importantes.[6] L'équipe ATE s'est penchée sur les diverses études, les méthodologies employées et les paramètres de ces travaux. En tenant compte également des résultats des divers ateliers et groupes de réflexion, elle s'est donné un certain nombre de règles de base pour concevoir et choisir des scénarios distincts et plausibles.

Le processus de conception des scénarios peut se résumer ainsi :

1 Espace de planification des scénarios ATE

L'équipe a défini, pour les besoins de l'élaboration des scénarios, un espace de planification déterminé par trois principaux vecteurs. Ces vecteurs ont été choisis après l'analyse des questions soulevées dans le cadre des divers ateliers et groupes de réflexion, des discussions bilatérales et de l'Atelier virtuel. Pour être retenue dans le cadre du projet, une question donnée devait remplir les conditions suivantes :

i) être susceptible d'entraîner des changements importants;
ii) être indépendante de la volonté du groupe client;
iii) être indépendante des autres.

Suit une description des trois vecteurs qui déterminent l'espace de planification et de leurs valeurs possibles.

Souci de l'environnement

Ce vecteur indique comment le milieu des affaires et le public considèrent les questions environnementales et les intègrent à leur processus décisionnel. Il rend compte des comportements face aux questions environnementales; il englobe l'éthique environnementale et la prise de conscience des problèmes de l'environnement. Ses

---

[6] Voir, par exemple, Schwartz, Shell Which World, Air Force DOE Ontario .....

valeurs s'échelonnent du **gris,** niveau où les entreprises et la population sont peu nombreuses et lentes à réagir à des préoccupations environnementales, au **vert**, niveau où les entreprises et la population affichent un haut degré de sensibilisation et intègrent de façon proactive les questions environnementales dans les décisions qui influent sur leurs activités.

Marchés internationaux

Ce vecteur reflète la mondialisation de l'économie, de même que le succès des efforts de libéralisation de l'économie et de transition vers une économie de marché. Ses deux pôles sont le marché **ouvert**, où les tarifs douaniers et autres barrières commerciales ont complètement disparu, les produits et les capitaux circulent librement et toutes les économies mondiales s'intègrent, et le marché **fermé**, un monde protectionniste où la mondialisation n'a pas progressé comme prévu et où les pays se concentrent chacun sur leur propre croissance économique et sur leur productivité.

Le rythme du changement dans le système d'innovation[7]

Ce vecteur rend compte de la maturité du système d'innovation au Canada. Sa valeur varie de **rapide** à **lent**. En mode **rapide**, une croissance exponentielle des nouvelles technologies se traduit par un roulement rapide du capital. L'innovation est favorisée par l'éducation, la gestion efficace des nouveaux concepts et des nouvelles idées, ainsi que des travaux de R-D et des investissements empreints de patience, qui débouchent sur la commercialisation de produits. En mode **lent**, divers maillons de la chaîne d'innovation manquent de substance, et le système d'innovation évolue à un rythme comparable à celui de la fin du XX^{e} siècle. Peu d'acteurs sont en mesure d'investir ou d'exploiter les produits de ce système, de sorte que le taux de roulement du capital est faible.

Les analystes ont construit un « cube de planification », en plaçant à l'origine les valeurs inférieures des différents vecteurs. Les huit coins du cube correspondent aux valeurs limites de l'espace de planification et les points à l'intérieur du cube représentent toutes les solutions possibles dans le monde à l'intérieur des paramètres fixés.

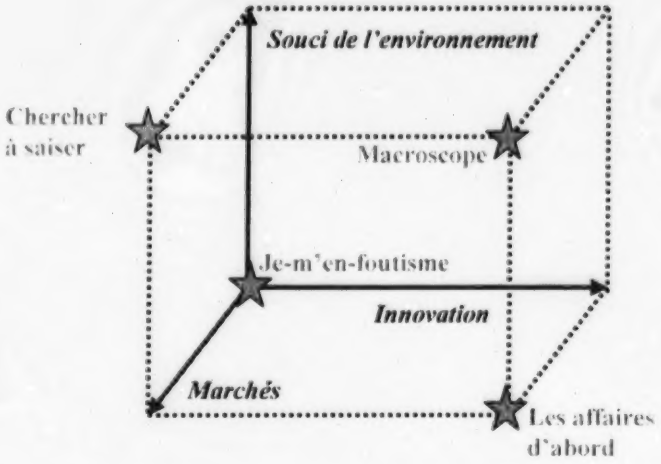
---

[7] Le concept de système d'innovation, dans le sens où il est employé ici, doit être clairement distingué de la création de nouveaux produits sous la pression de la concurrence, ou encore de la capacité d'une entreprise ou d'une économie d'employer une technologie donnée. La capacité d'une entreprise de modifier son produit sous l'effet d'une augmentation de la concurrence est tributaire du marché; appliqué aux produits, le concept d'innovation pourrait être lié à l'accès au marché et ainsi ne pas constituer un vecteur indépendant.

2 *Dénomination et choix des scénarios*

Les analystes ont retenu quatre scénarios possibles selon leur vraisemblance, leur cohérence interne et l'intérêt qu'ils pourraient susciter auprès de la clientèle. Ces quatre scénarios sont distincts et indépendants les uns des autres. L'équipe du projet ATE les a désignés sous les appellations suivantes :

Figure 5
Espace de planification de l'ATE



Je-m'en-foutisme
Dans ce scénario, le rythme de l'innovation est lent, les marchés fermés et l'étiquette environnementale au plus bas (gris). Les diverses conférences des parties à la Convention-cadre sur les changements climatiques n'ont pas réussi à entraîner dans leur sillage les économies en développement, en conséquence de quoi le débat international sur les questions environnementales s'est estompé. Tant les pays développés que les pays en développement sont revenus à des politiques davantage protectionnistes après la vague de libéralisation des marchés survenue à la fin du XX^{e} siècle. Ainsi isolés, les pays sont peu poussés à innover, et la cause de l'environnement n'est servie qu'en paroles. Le programme d'action des pays en développement est dominé par des objectifs politiques internes, comme l'augmentation du niveau de vie, l'éducation et le plein emploi. Ces économies considèrent la mondialisation comme un objectif positif, mais elles partent du principe qu'elle se fera à leurs conditions. Le souci de l'envirtonment tourne au gris; on mise sur les technologies existantes, et les perspectives d'amélioration immédiate semblent peu reluisantes.

Chercher à saiser
Ce scénario se caractérise par une bonne prise de conscience des questions environnementales (vert) et un rythme d'innovation lent. La croissance économique est acceptable, et les marchés mondiaux grand ouverts. La nécessité de prendre des mesures immédiates pour lutter contre le changement climatique a poussé les gouvernements des pays développés, dont le Canada, à déployer rapidement diverses technologies déjà disponibles, dans l'espoir de trouver une solution miracle au problème du changement climatique. Dans ce scénario, les avantages à court terme du déploiement et de la commercialisation de technologies mûres sont bien accueillis. Au-delà de leurs retombées économiques et environnementales, ils permettent aux politiciens de démontrer à la population et aux groupes écologistes que des mesures concrètes sont prises pour réduire les émissions. Malheureusement, comme on se concentre sur des activités à court terme, les investissements sont très mal répartis le long de la chaîne d'innovation. En l'absence de planification à long terme et de recherche-développement prévoyante, le réservoir de

technologies dont dispose le Canada est assez pauvre. Vers 2030, il existe très peu de technologies novatrices pour lutter contre le changement climatique. Le souci de l'environment varie du vert pâle au vert moyen à court terme, mais elle commence à virer au gris à cause du peu de technologies nouvelles.

Les affaires d'abord

La rapidité du rythme d'innovation, l'ouverture des marchés et la faible prise de conscience des questions environnementales ont conduit à un monde dominé par la rentabilité et le profit. L'économie s'organise autour d'un groupe de compagnies transnationales interconnectées qui servent d'abord et avant tout les intérêts économiques de leurs entreprises. Le roulement du capital est rapide, et il existe une forte interdépendance économique entre les entreprises et les nations. La croissance économique et la prospérité des entreprises se font au détriment des questions sociales et environnementales. Elles ont également creusé l'écart entre les pays développés et les pays en développement. Les compagnies transnationales exercent non seulement un pouvoir économique, mais aussi un pouvoir politique dans leurs relations d'affaires, en particulier avec les économies en développement. Elles implantent leurs usines dans des enclaves industrielles à l'intérieur des pays en développement, où les coûts d'exploitation sont plus faibles et, par conséquent, les profits plus élevés. Elles s'approprient rapidement les terrains disponibles dans ces régions; dans certains cas, les pays, en particulier ceux dont la population s'accroît rapidement, se retrouvent dans une situation où la pauvreté rurale et la dégradation du milieu urbain engendrent des problèmes de santé et des tensions sociales. Dans ce monde, le grand problème planétaire est non plus le changement climatique, mais plutôt la répartition de la richesse. C'est un monde gris moyen qui tourne au vert grâce aux progrès technologiques qui ont réduit les émissions de GES.

Macroscope

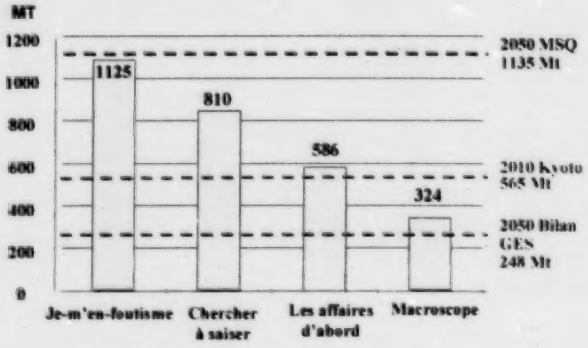
Dans ce scénario, des mesures sont prises pour réduire les émissions de GES; les marchés sont ouverts, l'innovation rapide et la prise de conscience des problèmes environnementaux, élevée. Il existe une grande communauté de vues entre les pays, les gouvernements, l'industrie et la population au sujet des questions environnementales. Les entreprises multinationales exercent un double pouvoir politique et économique et pressent les gouvernements d'intervenir sur des questions environnementales, commerciales et monétaires. L'interaction accrue des pays favorise le développement transparent de nouvelles technologies, leur commerce et leur application dans tous les secteurs de l'économie. Le Canada occupe une position favorable sur ce marché mondial, et les entreprises canadiennes peuvent mettre à profit leur expertise et leurs produits, réinvestir de nouvelles compétences qui sont très en demande dans ces marchés mondiaux ouverts et en expansion. Malgré sa profonde souci de l'environment, ce monde est gris moyen. Les réductions d'émissions de GES réalisées grâce à la technologie sont neutralisées en partie par l'expansion des opérations industrielles, l'internationalisation des réseaux de distribution et la multiplication des activités de loisirs qui consomment de l'énergie.

Résultats des scénarios

Les analystes ont élaboré un cadre pour évaluer les implications de chaque scénario et, en particulier, leurs impacts sur les émissions de GES. Ce système de modélisation est construit autour du modèle IFSD (InterFuel Substitution and Demand - Substitution inter-combustibles et demande), qui a été utilisé dans les Perspectives énergétiques du Canada, 1996-2020 et appliqué à notre prévision MSQ.

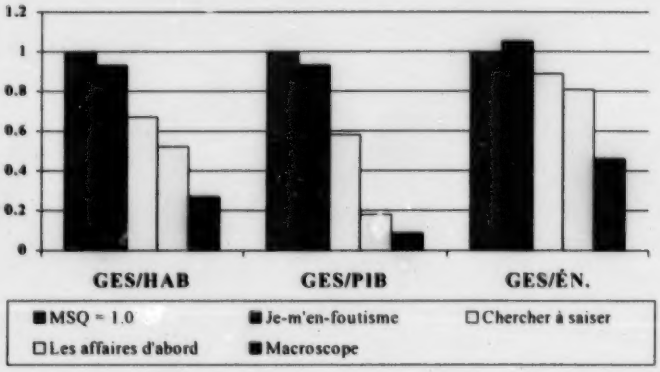
Pour étendre ce cadre d'évaluation jusqu'en 2050, nous avons utilisé trois catégories d'hypothèses :
i) hypothèses contextuelles (par exemple démographie, tendances économiques, etc.), ii) hypothèses qui se déduisent aisément des hypothèses contextuelles (par exemple véhicules-kilomètres par habitant); et iii) hypothèses propres au scénario considéré, ayant trait, par exemple, à l'efficacité, à l'impact de la redistribution des sources d'énergie, etc. À partir de ces hypothèses, nous avons établi des estimations des émissions de GES. On constate que dans le scénario du *Je-m'en-foutisme*, le niveau des émissions se compare à la prévision MSQ. Dans le scénario du *Macroscope*, les émissions de GES sont les plus proches du « bilan de GES » de 2050 pour le Canada (voir la figure 6).

Figure 6
Impact des scénarios ATE sur les GES



Le cadre d'analyse de l'ATE permet également d'effectuer des calculs plus détaillés pour confirmer ces niveaux. Par exemple, la figure 7 illustre les émissions de GES par habitant, par unité de production et par unité d'énergie primaire, dans chaque scénario. Comme on peut le voir dans chaque scénario, l'intensité des émissions de GES est inversement proportionnelle à l'innovation et à l'étiquette environnementale, et l'intensité carbonique de notre parc de production d'énergie diminue également. Dans tous les scénarios, l'intensité des émissions de GES par habitant et par unité de production est inférieure à la prévision MSQ. Dans le scénario du *Je-m'en-foutisme*, l'intensité carbonique du parc

Figure 7
Intensité des émissions de GES, par scénario

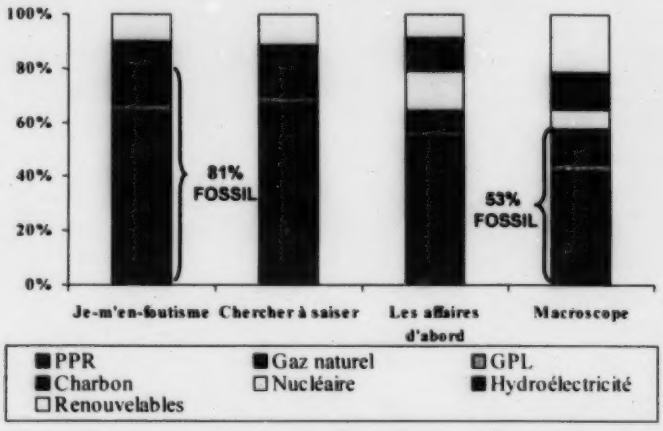


énergétique est supérieure à la prévision MSQ en raison d'une consommation d'énergie plus faible conjuguée à une baisse marginale des émissions de GES.

En ce qui concerne l'intensité des émissions de GES par unité de production, on prévoit que plus l'innovation est rapide, plus il se produit des changements fondamentaux dans les systèmes de fabrication. Ainsi, dans le scénario du *Macroscope*, les systèmes sont plus flexibles et malléables et reposent sur le réoutillage rapide, le multitraitement et le fonctionnement en multitâches. De plus, on fait un plus grand usage de micromachines, de nanotechnologies et des puissances de calcul à haute vitesse. Les biotechnologies jouent également un rôle important dans la réduction de l'intensité carbonique des procédés industriels, dans des domaines tels que la biorestauration, la séparation, la purification ainsi que le traitement in situ et la valorisation des huiles lourdes et des sables pétrolifères. Les liens entre les biotechnologies et les technologies de l'information ont également réduit les intensités carboniques, grâce à des technologies telles que les bio-ordinateurs, les détecteurs et dispositifs de commande, l'intelligence artificielle et la robotique.

L'intensité carbonique du parc énergétique est une autre raison importante de réduire les émissions de GES. La figure 8 montre que la part des combustibles fossiles dans la parc énergétique est en baisse. Le Canada continue néanmoins d'en utiliser. Les combustibles fossiles représentent environ 81 % du parc de production d'énergie dans le scénario du *Je-m'en-foutisme* (le scénario où les émissions de GES sont les plus élevées) et environ 53 % dans le scénario du *Macroscope* (où les émissions de GES correspondent approximativement au « bilan de GES » de 2050.

Figure 8
Composition du parc énergétique

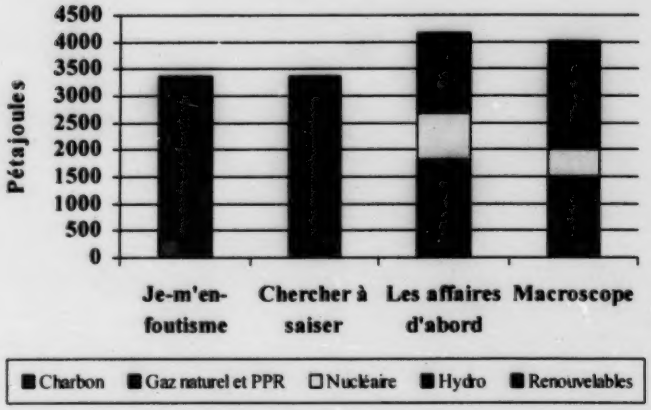


Dans tous les scénarios, le gaz naturel joue un rôle de premier plan. L'implantation de systèmes de cogénération est de cycles combinés augmente son importance dans les scénarios du *Je-m'en-foutisme* et de *Chercher à saiser*. Dans les scénarios de *Les affaires d'abord* et du *Macroscope*, ils cèdent un peu de terrain au nucléaire. Dans les applications autres que la production d'électricité, le gaz naturel et le charbon deviennent les combustibles complémentaires, ce qui témoigne de l'interaction entre l'innovation, l'étiquette environnementale et l'accès au marché.

Les sources d'énergie renouvelable jouent un rôle plus important dans le scénario du *Macroscope*, où elles représentent 21 % du parc énergétique.

Finalement, dans tous les scénarios, on constate une augmentation du rôle de l'électricité dans l'économie. Notre analyse des scénarios indique le degré d'électrification et la nature des sources d'énergie utilisées pour répondre aux besoins en électricité. La figure 9 montre que l'hydroélectricité demeure forte dans tous les scénarios, mais que le volume de gaz naturel et de charbon varie d'un scénario à l'autre selon l'importance du facteur environnemental. Nous avons écarté le nucléaire du scénario du *Je-m'en-foutisme* et du scénario de *Chercher à saiser*, en raison des fermetures de centrales actuelles et des préoccupations suscitées par la gestion des déchets nucléaires. En revanche, dans les scénarios de *Les affaires d'abord* et du *Macroscope,* le nucléaire est devenu un moyen de produire une énergie fiable et de grande qualité, grâce aux progrès accomplis dans la fabrication des semi-conducteurs, les nanotechnologies, les biotechnologies et les technologies de l'information. La disponibilité de centrales nucléaires modulaires, les nouveaux types de réacteurs et la transmutation des déchets nucléaires facilitent également l'essor du secteur électronucléaire. La capacité de stockage offerte par les aimants supraconducteurs a réduit la nécessité de produire de l'électricité en période de pointe et permet la mise en service d'un plus grand nombre de centrales nucléaires de base. Dans ces deux derniers scénarios, on compte également davantage sur d'autres sources de production, y compris les énergies renouvelables.

Figure 9
Production d'électricité



Problèmes et défis

Les divers scénarios de l'ATE soulèvent plusieurs questions importantes et posent des problèmes majeurs. Voici les plus importants :

i) Le rôle de l'énergie nucléaire au Canada

Compte tenu de la fermeture actuelle de plusieurs réacteurs nucléaires, il est convenu de se demander si le nucléaire deviendra une source viable et connaîtra l'essor qu'on lui prévoit dans certains scénarios de l'ATE. Combinera-t-on le nucléaire avec la production d'hydrogène, et qu'est-ce que cela impliquerait sur le plan des coûts énergétiques et autres? Le Canada va-t-il reconstituer sa capacité nucléaire ou comptera-t-il sur la production étrangère?

ii) Le rôle de la récupération et de l'élimination des GES

La technologie de la séquestration des GES peut avoir un impact considérable sur la gestion globale des émissions et, en particulier, de CO_2. Quelles sont les meilleures méthodes pour récupérer les GES des sources ponctuelles? Qu'en est-il des sources mobiles, comme les véhicules personnels? L'enfouissement dans des aquifères ou au fond des océans constitue-t-il le moyen le plus efficace pour se défaire des GES? La minéralisation du CO_2 peut-elle s'avérer efficace?

iii) Le rôle de l'hydrogène

Le Canada pourrait-il passer à une économie de l'hydrogène et, dans l'affirmative, peut-il résoudre quelques-uns des problèmes liés à l'hydrogène (stockage, distribution, densité énergétique, acceptation par le consommateur) et dans quel délai? Comment et où l'hydrogène sera-t-il produit, et l'évolution se fera à quel rythme?

iv) Le rôle des énergies renouvelables au Canada

Quelle importance auront les sources d'énergie renouvelable au Canada et quels en sont les usages les plus efficaces et les plus appropriés? Quels effets les autres technologies, comme celle du stockage de l'électricité à grande échelle, auront-elles sur les énergies renouvelables? Aideront-elles ou nuiront-elles?

v) Infrastructure

Comme l'équipement prend de l'âge, il faut voir dès à présent à investir dans la technologie, les produits et les usines. Quelles sont les conséquences du vieillissement des infrastructures du point de vue de l'économie et de la sécurité? En quoi l'investissement dans des matériaux, des procédés et des techniques d'évaluation pendant la durée de vie utile de l'équipement permet-il de mieux planifier?

vi) La voie à suivre

Voilà de loin la question la plus difficile qui se soit posée aux analystes de l'ATE qui ont construit les scénarios. Comment peut-on intégrer la prospective dans les processus de planification des politiques et de priorisation de la R-D? De quels types de liens et de mécanismes de collaboration avons-nous besoin au pays et à l'échelle internationale pour modifier la nature des technologies et des politiques énergétiques de manière à ce que la technologie et l'innovation puissent jouer le rôle dominant qui est le leur dans la réalisation des objectifs environnementaux et économiques à plus long terme? Quels types de politiques, de cadres et de conditions faut-il mettre en place pour accélérer l'innovation et la rotation du capital?